

97 P 1414



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 41 15 445 C 2

⑤1 Int. Cl. 5:
G 01 B 11/00
G 01 B 11/24
G 06 K 9/20 *9/46*
G 01 C 11/02
G 03 B 37/00

B 7

②1 Aktenzeichen: P 41 15 445.2-52
②2 Anmeldetag: 11. 5. 91
④3 Offenlegungstag: 23. 1. 92
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 2. 94

DE 41 15 445 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1
05.07.90 DE 40 21 279.3

⑦3 Patentinhaber:
Malz, Reinhard, 7012 Fellbach, DE

⑦4 Vertreter:
Mierswa, K., Dipl.-Ing., Pat.- u. Rechtsanw., 68199
Mannheim

⑦2 Erfinder:
gleich Patentinhaber

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 33 37 251 C2
US 45 94 001
US 41 75 862

Patent Abstracts of Japan P-1156 January 21, 1991,
Vol. 15/No. 24;
MALZ, R.: Adaptive Light Encoding for 3-D- Sensing
with maximum Measurement Efficiency. In:
Informatik-Fachberichte, Springer-Verlag,
Oktober 1989, S. 98-105;

⑤4 Verfahren zum Aufnehmen eines dreidimensionalen Bildes eines Objektes nach dem aktiven
Triangulationsprinzip und Vorrichtung hierzu

DE 41 15 445 C 2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufnehmen eines dreidimensionalen Bildes eines Objektes nach dem aktiven Triangulationsprinzip und eine Vorrichtung hierzu gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 6.

In der Qualitätsprüfung von Einzelteilen oder Baugruppen ist es notwendig, topographische Eigenschaften der Teile oder Gruppen wie Welligkeit, Form- und Oberflächentreue bezüglich der geforderten Toleranzen ständig zu überprüfen und zu beurteilen. Als eine der Methoden der optischen Meßtechnik ist die 3-D-Topographie nach dem aktiven Triangulationsverfahren mit beleuchtungstechnischer Merkmalsextraktion bekannt. Dabei entspricht die Geometrie der des passiven Stereosehens, wobei ein Auge bzw. eine Kamera durch einen Projektor ersetzt wird, der die Objekte optisch markiert. Anschließend werden die Intensitätsmuster der Markierung im Bild bzw. in der Bildsequenz identifiziert und nach der geometrischen Triangulation in Höhen- bzw. in Distanzwerte umgerechnet.

Durch den Aufsatz von R. Malz "Adaptive Light Encoding for 3-D-Sensing with Maximum Measurement Efficiency", in der Zeitschrift "Informatik-Fachberichte", Springer-Verlag, Oktober 1989, Seiten 98–105, ist ein Laser-Codeprojektor für die Projektion beliebiger Codes mit quasianaloge Eigenschaften bekannt geworden, der die Projektion von Codes mit maximal 3000 Worten und 2 bis 4096 Graustufen erlaubt. Die Projektion erfolgt mit einer maximalen Frequenz von 50 Hz, womit es möglich ist, 6. Vollbilder in der Zeit von 240 Millisekunden aufzunehmen.

Die DE 33 37 251 C2 beinhaltet ein optisches Abtastverfahren zur dreidimensionalen Vermessung von Objekten nach dem Triangulationsprinzip, bei dem ein Beleuchtungslichtbündel in Abtastrichtung in eine vorgegebene Folge von Beleuchtungsflecken auf dem Objekt abgelenkt wird und die Beleuchtungsflecke nacheinander in eine andere Richtung als die Beleuchtungsrichtung durch Beobachtungslichtbündel bezüglich einer Referenz-Raumkurve (Referenzobjekt, Null-Linie) ablenkungs kompensiert in eine Empfängereinrichtung zur Bestimmung der Koordinaten des Objektes am jeweiligen Beleuchtungsfleck abgebildet werden. Im Beleuchtungsstrahlengang wird eine Schärfentieferweiterung mittels eines Axicons durchgeführt, wobei im Beobachtungsstrahlengang eine Schärfentieferweiterung durch Ausrichtung der Empfängereinrichtung gemäß Scheimpflug-Bedingung durchgeführt wird. Das Prinzip des Axicons läßt sich jedoch aus physikalisch-energetischen Gründen nicht auf einen statischen Linienfokus ausdehnen. Des weiteren ist bei Axicons zur flächenhaften Abtastung eine zweidimensionale Ablenkung zwingend erforderlich, die, wie vom Fernsehbild her bekannt, eine zeilenhafte, diskrete Struktur aufweist. Für flächenhafte Codierungsverfahren sind Axicons deshalb nicht geeignet, weil die unvermeidlichen Nebenmaxima bei Aufsummierung der einzelnen Zeilenbilder in einem Kamerabild zu erheblichen Amplitudenstörungen führen.

Durch die US 4 594 001 ist es bekannt, die Lichtintensität bei der dreidimensionalen Vermessung eines Objektes dem lokalen Reflexionsvermögen des Objektes anzupassen. Dazu wird ein Objekt zuerst mit einer Lichtebelegung eines Projektors mit LCD-Maske beleuchtet und das reflektierte Licht als Signal verwendet, um den Ausgang des Projektors Punkt für Punkt in Übereinstimmung mit der Intensität des reflektierten Lichtsignals zu modifizieren. Anschließend wird das Objekt ein zweites Mal gescannt und der Projektor dergestalt gesteuert, daß weniger Licht als vorher von jenen Punkten reflektiert wird, von denen ein stark reflektierendes Lichtsignal während des ersten Scandurchganges erhalten wurde. Damit wird eine Helligkeitsadaptation durchgeführt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den bekannten Laser-Codeprojektor weiter zu verbessern und insbesondere ein Verfahren anzugeben, welches in der Lage ist, das Objekt mit beliebigen strukturierten und codierten Beleuchtungen zu markieren, wobei auch bisher nicht realisierbare adaptive Codierungen mit höherer Effizienz zum Einsatz kommen können und dadurch auch unter wechselnden Verhältnissen eine konstante und reproduzierbare hohe Qualität der Bildaufnahmen gewährleistet sein soll.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren und eine Vorrichtung zur Lösung der Aufgabe sind durch die Merkmale des Anspruchs 1 und 4 gekennzeichnet. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den zugehörigen Unteransprüchen gekennzeichnet.

Das erfindungsgemäße Verfahren besitzt den Vorteil, daß es in den wesentlichen Parametern sehr flexibel ist und durch Verwendung der jeweils optimalen Codierung auch unter wechselnden Verhältnissen, wie beispielsweise unterschiedlichen Objekttopologien oder Reflexionseigenschaften, eine höhere Meßqualität liefern kann, als dies in der gleichen Meßzeit mit festkonfigurierten Beleuchtungsmustern herkömmlicher Verfahren möglich wäre.

Insbesondere können die Beleuchtungsmuster nach jedem Videobild trägeheitsfrei umgeschaltet werden, so daß eine zeitlich lückenlose Bildaufnahme im Videobildtakt möglich ist, der in der Regel 25 Bilder pro Sekunde beträgt, bei speziellen Kameratypen aber auch mehrere hundert Bilder pro Sekunde erreichen kann. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann für verschiedenste Aufgaben der laufenden Qualitätskontrolle, auch bei kleinen Serien eingesetzt werden, z. B. zur Form-, Lage- und Teilerkennung von Objekten. In vorteilhafter Weise ist die Vorrichtung an verschiedene Arbeitsabstände und Arbeitsvolumina anpaßbar, weil während des Abscannens des Objektes mittels der Ablenkeinrichtung eine dynamische Fokussierung auf die mittlere Objekthöhe gegeben ist und weil eine Optimierung und Anpassung des Tiefenschärfebereichs an das Objekt mittels getakter Verstellung auch der Blende möglich ist.

Das gewünschte Linienbild ist am einfachsten und sehr platzsparend mit einer möglichst punktförmigen Lichtquelle hoher Intensität, die vorzugsweise ein Halbleiterlaser ist, zu erreichen, der darüber hinaus monochromatische Lichtverhältnisse liefert.

In vorteilhafter Weise gleicht die automatische Nachfokussierung des Fokusses des Projektors die verschiedenen Entfernungen zwischen dem Drehpunkt der Ablenkeinrichtung und dem Objekt aus, die sich beim Abscannen eines Gegenstandes durch den sich ändernden Winkel zwischen Strahlrichtung und Beobachtungsfläche ergeben können.

Kurzbeschreibung der Zeichnung, in der zeigen:

Fig. 1 eine prinzipielle Darstellung des Aufbaus und der Zusammenschaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 eine prinzipielle Darstellung eines erzeugten, mehrdimensionalen Codes, der Anteile für die Intensität des Lasers, den Ort der Ablenkeinrichtung, den Fokus und ggfs. für die Blende aufweist;

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine technische Ausführung des Projektors der Vorrichtung und

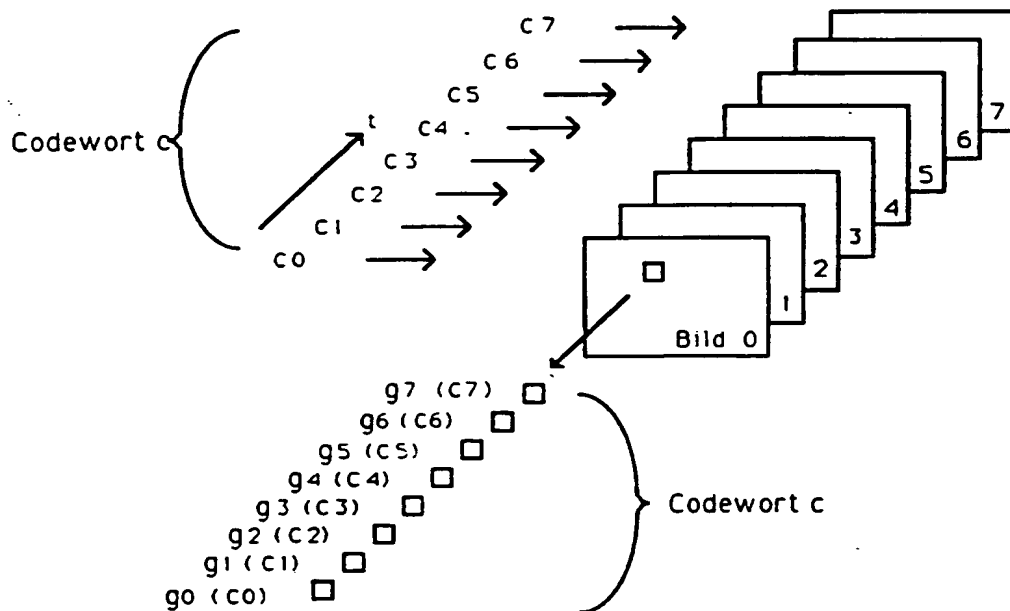
Fig. 4 eine um 90 Grad gedreht Ansicht von Fig. 3.

Beim Aufnehmen eines dreidimensionalen Bildes eines Objektes nach dem aktiven Triangulationsprinzip, bei der weder Nachbarschaftseigenschaften (Stetigkeit), noch Farbinvarianz und Polarisationserhaltung des Objekts vorausgesetzt werden können und jeder Bildpunkt unabhängig einen Distanzwert liefern soll, bleibt als Codierungsdimension nur die Zeit.

Jedem Bildpunkt eines aufzunehmenden Objektes soll unabhängig von seiner örtlichen Umgebung ein Distanzwert zugeordnet werden können. Die Codeworte werden daher als zeitliche Sequenz von Intensitätswerten auf das Objekt projiziert. Ein Codewort oder -vektor \underline{c} ist dann eine geordnete Liste mit w Buchstaben, die einem Alphabet A mit n Elementen entnommen sind:

$$\underline{c} = (c_0, c_1, c_2, \dots, c_{w-1}) \text{ mit } c_i \in A, A = \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}\}$$

Die Wertigkeit n eines Codes entspricht der Zahl der Grauwertklassen, die einzelnen Bilder einer Bildsequenz entsprechend den w Stellen eines Codewortes.



Das Prinzip der temporalen Intensitätskodierung ist in der vorstehenden Abbildung an einer einzigen Bildkoordinate dargestellt. Die Grauwertsequenz g kann einem bestimmten Codewort c zugeordnet werden, ohne daß benachbarte Bildkoordinaten berücksichtigt werden müssen.

Das Codewort c repräsentiert eine bestimmte Lichtschnittebene im Raum. Durch den Schnitt mit der Oberfläche des Objektes tauchen entsprechende Grauwertsequenzen $g = f(c, \dots)$ an verschiedenen Bildkoordinaten auf, und zwar bei einem ebenen Objekt längs einer Linie (Gerade).

Unter beispielhafter Anwendung einer derartigen Codierung zeigt Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bestehend aus einer Videokamera 1 und einem Laserprojektor 2, deren durch die Randstrahlen gebildete Öffnungskegel sich überschneiden und innerhalb der Überschneidung einen Arbeitsraum aufspannen, in welchem sich ein Objekt 24 befindet. Der Projektor 2 besitzt einen Laser, der vorzugsweise ein Halbleiterlaser 3 ist. Des weiteren weist der Projektor 2 einen Fokus mit einer Verstelleinrichtung auf, wobei Fokus und Verstelleinrichtung gemeinsam mit der Bezugssziffer 4 gekennzeichnet sind. Des weiteren besitzt der Projektor eine selbsttätig verstellbare Blende 5 und eine Optik 6, nach der eine Ablenkeinrichtung mit einer Scanneinheit für den Laserlichtstrahl folgt, wobei die Ablenkeinrichtung vorzugsweise einen Dreh- oder Kippspiegel 7 umfaßt.

Der Fokus 4 besitzt erfindungsgemäß eine Verstelleinrichtung, um das Linienbild auf dem Objekt 24, welches für drei Zeitpunkte durch die drei Lichtschnittebenen 25, 25', 25'' dargestellt ist, auf den Abstand $Z(t)$ zu fokussieren, wobei dieser Abstand $Z(t)$ der sich zeitlich ändernde Abstand vom Drehpunkt des Spiegels 7 bis zum momentanen Objektpunkt ist und dieser Abstand $Z(t)$ sich zeitlich ändert entsprechend der Topographie des Objektes 24 und dessen Lage im Arbeitsraum. Aus der Kenntnis des minimalen und des maximalen Abstandes $Z(t)$ von der Beobachtungsfläche des Objektes 24, dem Abstand von der bildseitigen Hauptebeine H' zum Drehspiegel 7 und der Gesamtbrennweite des optischen Systems läßt sich der notwendige maximale Verstell-

weg der Fokus-Verstelleinheit 4 bestimmen.

Die Fokus-Verstelleinheit 4 muß sehr schnell und präzise sein und, abhängig von der Scan-Frequenz, beispielsweise von 50 Hertz, einstellbar sein, weshalb die bewegten Massen gering sein müssen und die Eigenschwingung der bewegten Teile nach Möglichkeit oberhalb der Frequenz der Bewegung liegen sollte.

Des weiteren weist der Projektor 2 eine Codier- und Speichereinrichtung 8 auf, deren Ausgang vorzugsweise auf einen Digital-Analog-Wandler 9 gegeben werden kann, der bei Vorhandensein den Code in spannungsabhängige Analogsignale umzuwandeln imstande ist.

In Fig. 2 ist schematisch ein mehrdimensionaler Code dargestellt, der hier beispielsweise zweiwertig und fünfstellig ist, also eine Bildsequenz mit fünf Bildern erfordert. Es können jedoch beliebige Codes zum Einsatz kommen, vorzugsweise analog-digitale Kombinationscodes mit kontinuierlicher Orts- und Intensitätsmodulation (MZX-Gray-Hybridcodes, siehe a. a. O.). Der Code enthält Anteile für die Steuerung der Intensität des Lasers 3, des Ortes der Ablenkeinrichtung 7, des Fokusses bzw. der Fokus-Verstelleinrichtung 4 und gegebenenfalls auch der Blende 5. Schematisch sind neben den Pfeilen für die Intensität, den Ort, den Fokus und die Blende beispielhaft die möglichen zeitlichen Funktionen dargestellt, nach denen der Laser 3, die Ablenkeinrichtung 7, der Fokus 4 und die Blende 5 zeitlich gesteuert werden. Dementsprechend sind Ausgänge 10, 11, 12, 13 des Digital-Analogwandlers 9 mit der Ablenkeinrichtung 7, der Blende 5, der Fokus-Verstelleinrichtung 4 und den Laser 3 verbunden.

Zur Synchronisierung der Videokamera 1 mit dem Projektor 2 kann die Codier- und Speichereinheit 8 über eine Leitung 27 mit der Videokamera 1 verbunden sein; auf diese Weise wird der Code zur Decodierung der Videokamera zur Verfügung gestellt.

Ebenso ist es möglich, die Videokamera mit einem eigenen Codegenerator auszustatten, der den identischen Code wie die Codier- und Speichereinrichtung des Projektors erzeugt, wobei der Code-Generator der Videokamera und die Codier- und Speichereinrichtung des Projektors synchronisiert sind.

Die Arbeitsweise der Vorrichtung ist folgende:

Die Codier- und Bildspeichereinrichtung 8 erzeugt einen mehrdimensionalen Code wie vorstehend beschrieben bzw. gemäß der Fig. 2. Die verschiedenen Anteile dieses Codes steuern die verschiedenen Einrichtungen an, nämlich der Anteil der Intensität den Laser 3, der durch die Steuerung entsprechend moduliert wird. Der Anteil für den Ort steuert die Ablenkeinrichtung 7, der Anteil für den Fokus die Fokus-Verstelleinrichtung 4 an. Die Codier- und Speichereinrichtung 8 wird durch einen zentralen Takt gesteuert, so daß sämtliche Anteile des mehrdimensionalen Codes synchron verlaufen und ausgegeben werden.

Während der Integrationszeit eines Videobildes werden durch Ablenkung des Laser-Linienfokus mittels der Ablenkeinrichtung 7 zeitlich nacheinander die Buchstaben einer bestimmten Stelle aller Codeworte eines bestimmten Codes als diskrete oder kontinuierliche Folge von Lichtschnittebenen projiziert. Der Schnitt dieser Lichtschnittebenen, beispielsweise 25, 25', 25'', mit der Objektoberfläche 24 ergibt die entsprechenden Lichtschnittlinien.

Durch die zeitliche Integrationswirkung der Videokamera 1 erscheint jeder Scanvorgang im Videobild als flächenhafte strukturierte bzw. codierte Beleuchtung. Um alle w-Stellen eines w-stelligen Codes zu projizieren, sind demnach w-Scanvorgänge erforderlich. Die dabei entstehenden Bilder werden in einem Bildspeicher abgelegt.

Zur Decodierung dieser Codierung steht der Videokamera der identische, mehrdimensionale Code zur Verfügung, entweder aus der Codier- und Speichereinrichtung 8 über eine Leitung 27 oder aus einem eigenen Codegenerator, der mit der Codier- und Speichereinrichtung 8 synchronisiert ist. Die Grauwerte der Bildfolge an derselben Bildkoordinate werden vom Decodierer als Codewort erkannt und einer bestimmten Lichtschnittebene, im Kontinuum der projizierten Lichtschnittebenen 25, 25', 25'', zugeordnet, die die absoluten Koordinaten des betrachteten Objektpunktes des Objektes 24 liefern.

Die Fig. 3 und 4 zeigen eine technische, beispielhafte Ausführung des Projektors der Vorrichtung, bestehend aus einem Gehäuse mit einer Rückwand 14 und zwei Seitenwänden 14', 14''. Innerhalb des Gehäuses sind zwei parallel zueinander verlaufende Haltestangenpaare 17, 17' angeordnet. Im Bereich des einen Endes der Haltestangenpaare 17, 17' ist an einer Ablenk- oder Scanner-Einrichtung 15 ein Dreh- oder Kippsiegel 16 angeordnet, der dreh- oder kippbar gehalten ist und um einen Ablenkwinkel 9 ausgelenkt werden kann. Die Ablenk- oder Scannereinrichtung 15 erzeugt einen Takt, beispielsweise zwischen 50 Hz und 200 Hz, mit dem der Spiegel 16 jeweils um den Ablenkwinkel 9 ausgelenkt wird. Die Ablenk- oder Scannereinrichtung 15 ist mittels eines Spannklotzes 22 an der linken Seitenwand 14' des Gehäuses gehalten.

Am entgegengesetzten Ende der Führungsstangen 17, 17' ist ein Halbleiterlaser 23 angeordnet, der fest in eine Tauchspule 26 eingepaßt ist. Bei Erregung der Tauchspule 26 mit einem Wechselstrom, vorzugsweise gemäß der Frequenz der Ablenk- oder Scannereinrichtung, führt der Laser 23 mechanische Schwingungen vor und zurück in Richtung der Längsachse 28 der Laserlichtstrahlen aus. Somit stellt der Laser 23 innerhalb der ortsfesten Tauchspule 26 eine Autofokusverstelleinheit dar. Zwischen dem Spiegel 16 und dem Laser 23 ist eine Zylinderlinse 18 angeordnet, auf die eine Blende 19 folgt, nach der wiederum eine Zylinderlinse 20 angeordnet ist.

Der Laser kann auch feststehend sein, wobei zwischen dem Laser und dem Objektiv eine Lichtleitfaser angeordnet ist, die in der Strahlrichtung des Lasers beweglich gehalten und mechanisch zu schwingen imstande ist.

Eine weitere Möglichkeit bei feststehendem Laser ist die zweimalige Strahlumlenkung über ein Prisma oder ein 90-Grad-Spiegelpaar, dessen longitudinale Bewegung eine virtuelle longitudinale Bewegung des Lasers bewirkt.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung sind insbesondere einsetzbar für laufende Qualitätskontrollen in der Form-, Lage- und Teileerkennung von Objekten, an denen topographische Eigenschaften, wie Welligkeit, Form- und/oder Oberflächentreue detektiert werden sollen.

Liste der Bezugszeichen:

1 Videokamera (mit Bildspeichereinrichtung)	
2 Projektor	
3 Halbleiterlaser	5
4 Fokus und Fokus-Verstelleinrichtung	
5 Blende	
6 Objektiv	
7 Ablenkeinrichtung	
8 Codier- und Speichereinrichtung	10
9 Digital-Analogwandler	
10, 11, 12, 13 Ausgänge des Digital-Analogwandlers	
14 Gehäuserückwand	
14', 14'' Gehäuse-Seitenwände	
15 Ablenk- oder Scannereinheit	15
16 Dreh- oder Kipp-Siegel	
17, 17' Haltestangen	
18, 20 Zylinderlinsen	
19 Blende	
21 Autofokusverstelleinheit	20
22 Spannklotz	
23 Halbleiterlaser	
24 Objekt	
25, 25', 25'' Lichtschnittebenen	
26 Tauchspule	25
27 Leitung	
28 Mittellinie	

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufnehmen eines dreidimensionalen Bildes eines Objektes (24) nach dem aktiven Triangulationsprinzip, mittels einer Videokamera (1), die eine Bildspeichereinrichtung aufweist, und eines Laserprojektors (2), der eine Optik (6) und eine Codier- und Speichereinrichtung (8) besitzt, die auf das aufzunehmende Objekt einen Code zur optisch-flächenhaften Objektmarkierung in Form von Lichtschnittebenen (25, 25', 25'') mit einer vorgegebenen Frequenz projiziert, wobei der von der Codiereinrichtung angesteuerte Projektor, der Codeworte als zeitliche Sequenz von Intensitätswerten (Grauwerten) auf Objektpunkte projiziert und sie dadurch markiert, mit der Videokamera synchronisiert wird, die bei Aufnahme des Objektes die Objektmarkierungen mitaufnimmt, **dadurch gekennzeichnet**,
daß der von der Codiereinrichtung (8) erzeugte Code frei programmierbar unter wechselnden Verhältnissen, wie Objekttopologie bzw. Reflexionseigenschaften des Objektes, angepaßt wird und Anteile zum Steuern der Intensität des Lasers (3), einer Verstelleinrichtung (4) des Fokusses und der Ablenkung einer Ablenkeinrichtung (7) für den Laserlichtstrahl aufweist, und der Fokus mit der Ablenkeinrichtung innerhalb des Code-Taktes mitgeführt wird dergestalt, daß der Fokus innerhalb des Code-Taktes einen vorgebbaren Bereich zur Bildschärfereinstellung durchläuft und daß der Code synchron der Videokamera (1) zum Dekodieren zur Verfügung gestellt wird, wobei die Grauwerte der Bildfolge an derselben Bildkoordinate vom Dekodierer als Codewort erkannt und einer bestimmten Lichtschnittebene (25, 25', 25'') im Kontinuum der projizierten Lichtschnittebenen zugeordnet werden, die die absoluten Koordinaten des betrachteten Objektpunktes des Objektes (24) liefern.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Code ein mehrdimensionaler Code verwendet wird, der in spannungsabhängige Analogsignale gewandelt wird, die den Laser (3) (Intensität), den Fokus (4) (Optik) und die Ablenkeinrichtung (7) (Ort) für den Laserlichtstrahl des Projektors (2) ansteuern, wobei während einer Halbbewegung der Ablenkeinrichtung der Fokusabstand vom Projektor so mitgeführt wird, daß er dem (zeitlich veränderbaren) Abstand der Lichtschnittlinie vom Projektor angepaßt wird, und gegebenenfalls die Blende des Projektors so mitgeführt wird, daß der daraus resultierende Schärfentiefebereich des Projektors dem jeweils zu erwartenden Abstandsintervall der Lichtschnittlinienpunkte vom Projektor entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die spannungsabhängigen Analogsignale auch die Blende (5) (Optik) des Projektors (2) ansteuern, wobei die Blende so mitgeführt wird, daß der daraus resultierende Schärfentiefebereich des Projektors dem jeweils zu erwartenden Abstandsintervall der Lichtschnittlinienpunkte vom Projektor entspricht.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Fokus der Videokamera (1) nachgeführt wird, so daß Videokamera und Projektor (2) gleichermaßen auf denselben Bereich des Objektes entsprechend der aktuellen Lichtschnittlinie konzentriert sind.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß auch die Blende der Videokamera (1) gleichermaßen nachgeführt wird.
6. Vorrichtung zum Aufnehmen eines dreidimensionalen Bildes eines Objektes (24) nach dem aktiven Triangulationsprinzip, bestehend aus einer Videokamera (1), die eine Bildspeichereinrichtung aufweist, und

aus einem Laserprojektor (2), der eine Codier- und Speichereinrichtung (8) und eine Optik (6) besitzt, die auf das aufzunehmende Objekt (24) einen Code zur optisch-flächenhaften Objektmarkierung in Form von Lichtschnittebenen (25, 25', 25'') mit einer vorgegebenen Frequenz projiziert, wobei der von der Codiereinrichtung angesteuerte Projektor, der Codeworte als zeitliche Sequenz von Intensitätswerten (Grauwerte) auf Objektpunkte projiziert und sie dadurch markiert, mit der Videokamera synchronisiert ist, die bei Aufnahme des Objektes die Objektmarkierungen mitaufnimmt, dadurch gekennzeichnet, daß der Projektor (2) eine Verstelleinrichtung (4) des Fokusses und eine Ablenkeinrichtung (7) für den Laserlichtstrahl aufweist, der von der Codiereinrichtung (8) erzeugte Code frei programmierbar unter wechselnden Verhältnissen, wie Objekttopologie bzw. Reflexionseigenschaften des Objektes, anpaßbar ist und Anteile zum Steuern der Intensität des Lasers (3), der Verstelleinrichtung des Fokusses und der Ablenkeinrichtung aufweist, wobei der Fokus mit der Ablenkeinrichtung innerhalb des Codes-Taktes einen vorgebbaren Bereich zur Bildschärfereinstellung zu durchlaufen imstande ist und daß der Code synchron der Videokamera (1) zum Dekodieren zur Verfügung gestellt ist, wobei die Grauwerte der Bildfolge an derselben Bildkoordinate vom Dekodierer als Codewort erkannt und einer bestimmten Lichtschnittebene im Kontinuum der projizierten Lichtschnittebenen (25, 25', 25'') zugeordnet werden, die die absoluten Koordinaten des betrachteten Objektpunktes liefern.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (3) pulsmoduliert ist oder daß der Laser einen nachgeschalteten Modulator aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (23) in einer Tauchspule (26) angeordnet ist, die mechanische Schwingungen vorgebbarer Amplitude und Frequenz in der Strahlrichtung des Lasers auszuführen imstande ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Laser und dem Objektiv eine Lichtleitfaser angeordnet ist, die in der Strahlrichtung des Lasers mechanisch mit vorgebbarer Frequenz und Amplitude zu schwingen imstande ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß über eine (oder mehrere) Lichtleitfasern mehrere, unabhängig voneinander modulierbare Laser unterschiedlicher Lichtfrequenz eingekoppelt werden können, dergestalt, daß mehrere unterschiedlich codierte Lichtsignale gleichzeitig gesendet und von einer Farbvideokamera getrennt ausgewertet werden können.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

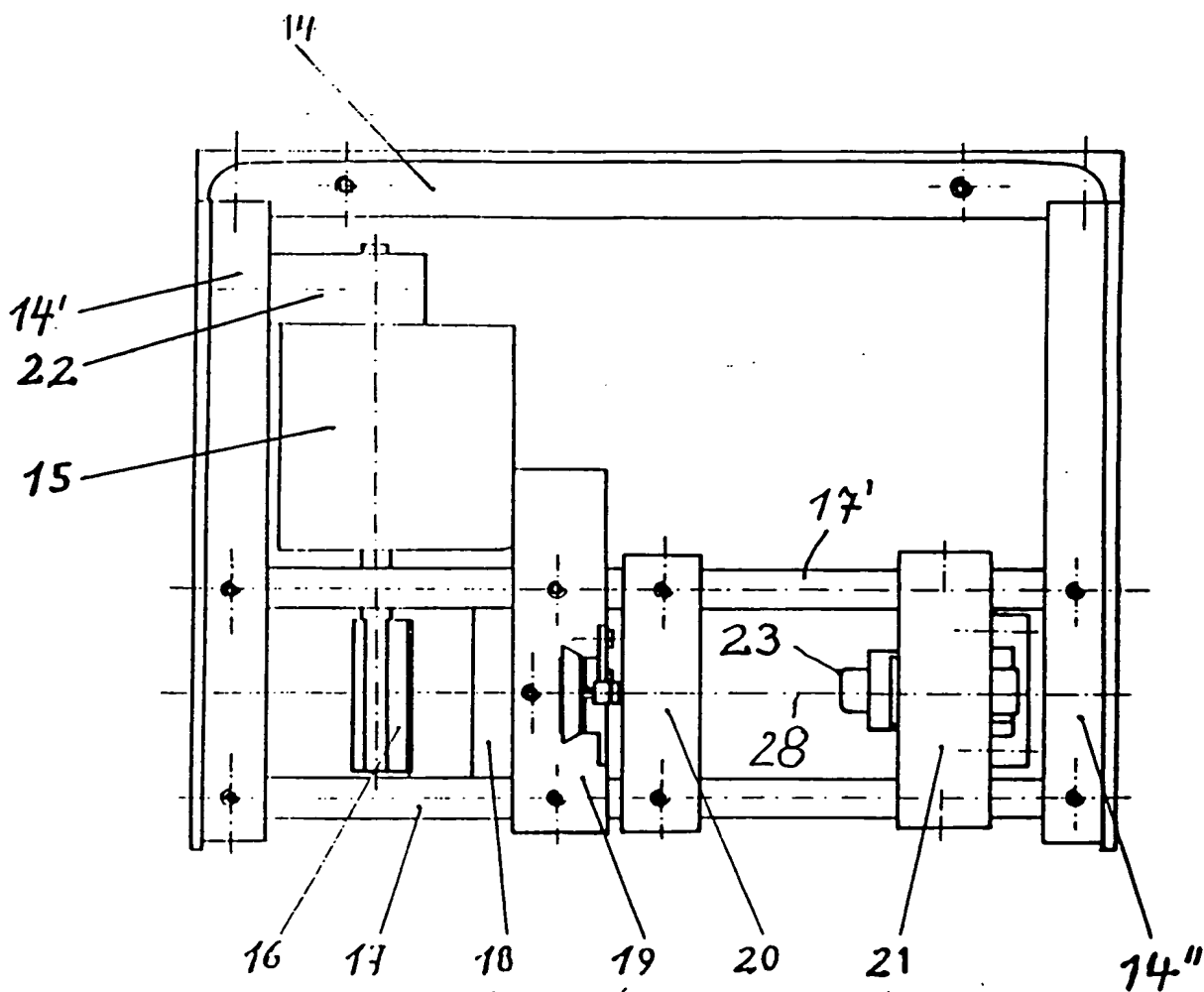


Fig. 3

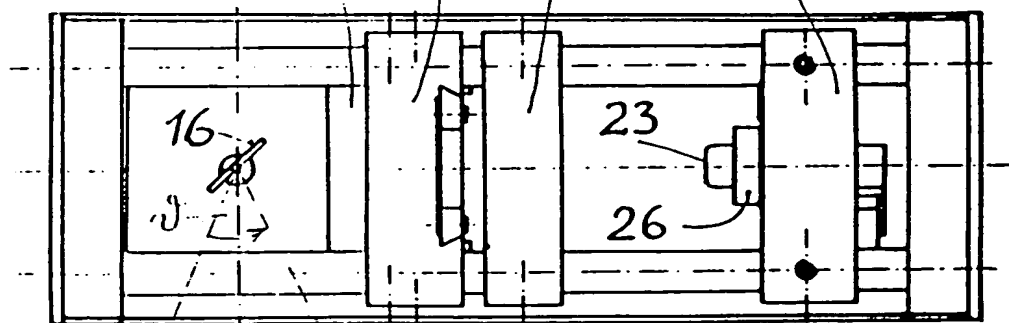


Fig. 4

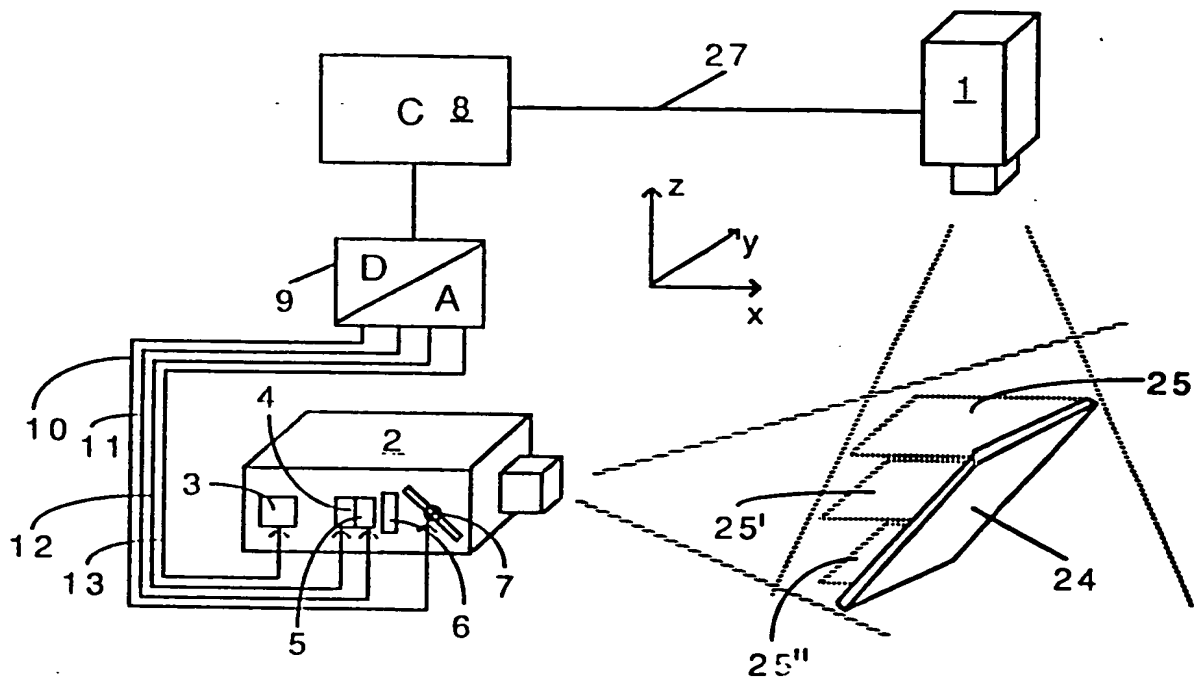


Fig. 1

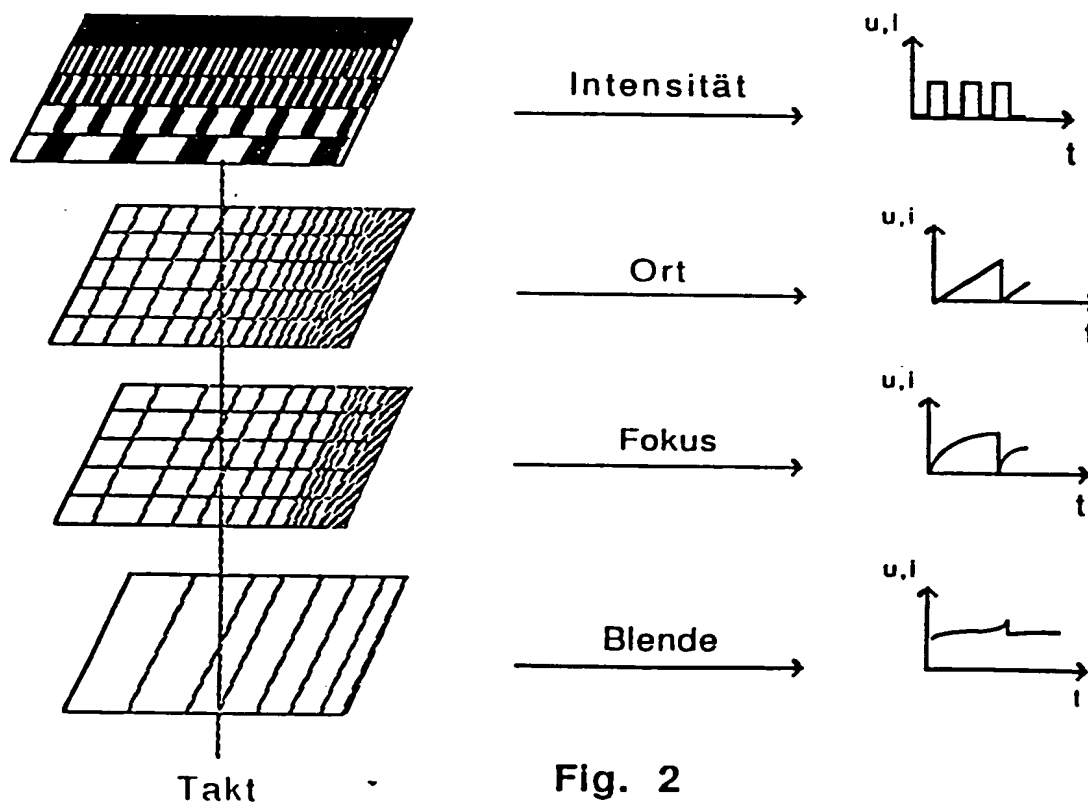


Fig. 2

97 P 14, 14

B 2

Vermessung beliebiger Objekte

Absolute 3D-Moiré-Meßtechnik

FRICKENHAUSEN - Der neue Linienprojektor enthält eine hohe Anzahl in der Helligkeit schaltbarer Linien. Damit können nunmehr alle sichtbaren Objektpunkte unabhängig voneinander in höchster Auflösung und Genauigkeit gemessen werden. Verwendbar sind herkömmliche Bildverarbeitungssysteme, die lediglich mit dem Linienprojektor und entsprechender Software aufgerüstet werden.

Durch die große Anzahl schaltbarer Projektionslinien in dem Linienprojektor LCD-1280 von ABW können nunmehr herkömmliche Bildverarbeitungssysteme zu modernsten 3D-Bildverarbeitungssystemen mit absolut messender Moirétechnik ohne bewegte optische Komponenten ausgerüstet werden.

Die Moirétechnik war bisher aufgrund der periodischen Struktur der Moirélinien auf der vergleichende Messung von leichten Deformationen oder auf die Messung sanft gekrümmter Objekte beschränkt. Größere Deformationen mußten durch Abzählen (dekodieren) der Moirélinien ermittelt werden. Man spricht hier von zyklisch absoluten Meßverfahren. Unlösbar Probleme ergaben sich naturgemäß an Höhensprüngen der Objekte und bei der absoluten Bestimmung der Anfangshöhe.

Mit den in der Helligkeit schaltbaren Linien des Linienprojektors LCD-1280 von ABW gehören diese Probleme der Vergangenheit an. Alle sichtbaren Punkte können nun unabhängig von irgendwelchen Nachbarschaftsbeziehungen direkt in der Höhe gemessen werden. Aus den

1280 Linien im Linienprojektor LCD-1280 werden je zwei benachbarte Linien hell bzw. dunkel geschaltet. Man erhält somit optisch 640 Linien, die bei entsprechendem Bildausschnitt mit den Zeilen käuflicher Videokameras interferieren. Wenn man Projektor und Kamera wie bei dem Stereosehen aus etwas unterschiedlichen Richtungen auf das Objekt richtet, geben die Interferenzstreifen oder Moirélinien Aufschluß über die Objektgeometrie. Mit dem Phasenshiftverfahren kann die Höhenauswertung in Subpixelgenauigkeit (d.h. genauer als das Kameraraster) erfolgen.

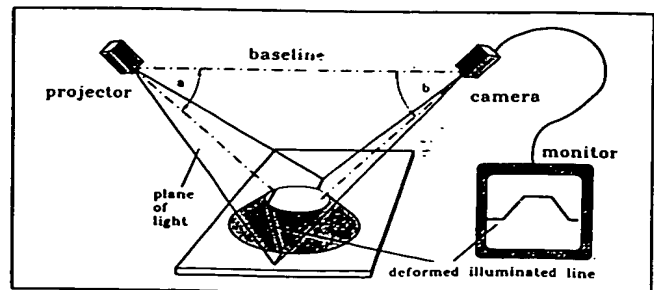
Die Programmierbarkeit der Linienhelligkeit im Linienprojektor LCD-1280 bietet nun zwei entscheidende Vorteile:

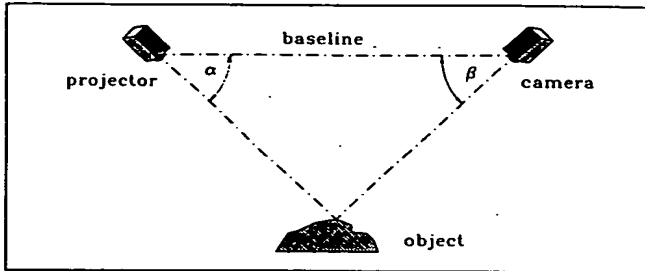
1. Zur subpixelgenauen Auswertung

der Linien werden nach dem bekannten Phasenshiftverfahren insgesamt vier um je eine halbe (optische) Linienbreite verschobene Gitterprojektionen benötigt. Diese vier Gitter lassen sich im LCD-1280 durch die elektrische Programmierung erzeugen. Die optische Linienbreite der Gitterlinien beträgt ja exakt zwei elektrisch programmierbare Linienbreiten.

2. Zur absoluten Messung wird zu jedem Bildpunkt der Videokamera die genaue Liniennummer der zugeordneten Projektionslinie benötigt. Dies läßt sich mit demselben Liniengitter nach dem ebenfalls bereits bekannten „Codierten Lichtansatz“ erzielen. Hierzu werden in elf zusätzlichen Aufnahmen alle Linien mit ihrem eindeutigen Binärcode auf das Objekt projiziert. Dieser Code wird nun bitweise bei jeder Aufnahme in jedem Pixel bzw. der zugehörigen Speicherzelle im Video-RAM des Bildverarbeitungssystems durch Binarisierung wiedergewonnen und im Bit-Plane-Stack aufgebaut. Nach Abschluß dieser Aufnahmesequenz steht im Bildspeicher jedes Kamerapixels der Code der zuge-

Lichtschnittverfahren an einem Kegelstumpf





Triangulationsprinzip

ordneten Projektionslinie. Somit ist zu jedem Pixel die zugeordnete Liniennummer bekannt.

Vorteile des Verfahrens

- **unabhängige Messung aller Einzelbildelemente**

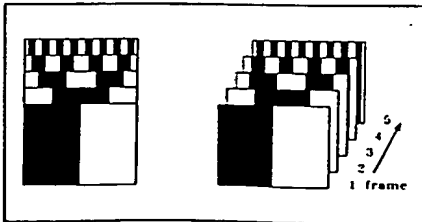
Jeder sichtbar ausgeleuchtete Oberflächenpunkt wird unabhängig von irgendwelchen Nachbarschaftsbeziehungen ausgewertet. Oberflächen wie sie in der Technik und in der Natur vorkommen mit Höhengsprüngen etc. lassen sich problemlos messen. Das Nachzählen der Linien (Decodieren) entfällt:

- **absolute Messung**

Die Meßwerte aus unterschiedlichen Aufnahmerichtungen lassen sich in ein gemeinsames Koordinatensystem transformieren und als Ganzes auswerten.

- **maximale Auflösung**

Durch die extrem kurze Periode entsprechend dem Pixelabstand der Kamera ergibt sich bei gleicher Phasenmeßgenauigkeit innerhalb der eine entsprechend hohe absolute Auflösung. Die Gitterperiode ist so klein, daß das bekannte Shannon'sche Abtasttheorem gerade erreicht wird. (nur dadurch entstehen ja die Moirélinien).



Codierter Lichtansatz mit Bit-Plane-Stack

- **hohe Meßgeschwindigkeit**

Mit dem normalen Lichtschnittverfahren müßte man für die gleiche Auflösung 1280 getrennte Lichtschritte, d.h. 1280 Videoaufnahmen machen. Bei der in Europa üblichen CCIR Videonorm mit 25 Bildern pro Sekunde würde dies über 50

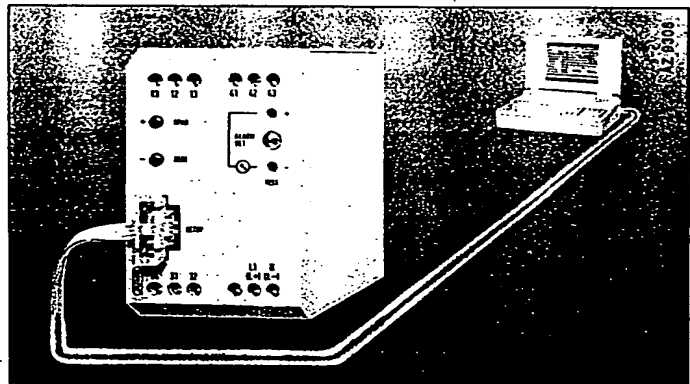
Sekunden dauern selbst wenn die Bildverarbeitungshardware alle notwendigen Operationen in Video-Echtzeit ausführen könnte. Mit dem „Codierten Lichtansatz“ in Kombination mit dem Phasenshiftverfahren werden ca. 15 Aufnahmen benötigt. Die ist eine bis zu 85fache Beschleunigung!

Anwendungen

Qualitätskontrolle in der Fertigung, Modellaufnahme, Gewinnung von CAD-Daten aus Prototypen, Medizin-, Reinraum- und Labortechnik etc.

KENNZIFFER 075

Für (fast) alle Sensoren



Smart Transmitter TMM-45

Die Auswahl des Sensors und des Meßbereiches erfolgt über ein Setup-Programm mit einem PC.

Der Eingang des Meßumformers ist für Widerstandsthermometer, -ferngeber, Thermoelemente, Strom- und Spannungssignale sowie kundenspezifische Linearisierungen ausgelegt.

Als Ausgangssignal sind wahlweise 0(4)...20 mA oder 0...10 V möglich. Als Option stehen ein Grenzwertrelais oder eine Schnittstelle RS 485 zur Verfügung.

Bitte fordern Sie detaillierte Unterlagen unter Kennziffer 9308 an.

JUMO
MESS- UND REGELTECHNIK

M. K. JUCHHEIM GmbH & Co · 36035 FULDA
Postfach 1209 · Tel. (06 61) 60 03-7 25 · Fax (06 61) 60 03-6 81

KENNZIFFER 076 ►

9701414

Mikrosystemtechnik:

Bildprojektion per Mikrochip

IC mit über 440 000 Einzelspiegeln macht traditionellen Großbildprojektoren Konkurrenz

Das texanische Unternehmen Texas Instruments hat ein Bauelement in mikrosystemtechnischer Bauweise zur Marktreife entwickelt, mit dem sich Bilder auf großflächige Leinwände projizieren lassen. Mehr als 440 000 auf einem Chip integrierte Einzelspiegel sind für die Transformation digitaler Bildinformationen in sichtbare Bilder zuständig.

Vor mehr als 20 Jahren haben Ingenieure bei Texas Instruments (TI) mit Forschungsarbeiten zur Übertragung digitaler Bilder über einen integrierten Schaltkreis in mikromechanischer Bauweise begonnen. Ziel war es unter anderem, der analogen Bildübertragung per Film, Video oder Dia ein voll digitales Verfahren entgegenzusetzen. Aber auch LCDs, deren Produktion aufwendig und teuer ist, lassen sich mit diesen Chips, den sogenannten Digital Micromirror Devices (DMD), ersetzen. Die neueste Version eines DMD-Bausteins verfügt über mehr als 440 000 Einzelspiegel, mit denen sich 256 verschiedene Graustufen oder 16 Millionen verschiedene Farben darstellen lassen.

Am Anfang stand die Reflektorfolie

Die ersten DMD-Bausteine waren unter dem Namen Deformable Membrane Display bekannt. Der Name bezog sich auf eine metallisierte Polymer-Membrane, die als Hybrid auf den Silizium-Chip aufgebracht wurde und als Spiegel fungierte. Ein Teil der Speicherkapazität eines jeden Pixels befand sich zwischen einer direkt mit dem Speicherschaltkreis verbundenen Aluminiumplatte auf der Oberfläche des Wafers und der metallisierten Membran selbst. Die elektrostatische Kraft in diesem Kondensator war für die entsprechende Ausrichtung der Folie und somit für die Modulation des

reflektierten Lichts verantwortlich. Alle DMDs basieren auf der elektrostatischen Ausrichtung von Spiegelementen; sei dies nun in Form einer Folie oder einzelner Spiegelemente. Bauelemente,

Bild 1. Digital Micromirror Devices (DMD) sind mikromechanische Bauelemente, die über Spiegelemente Bilder projizieren. (Bilder: TI)

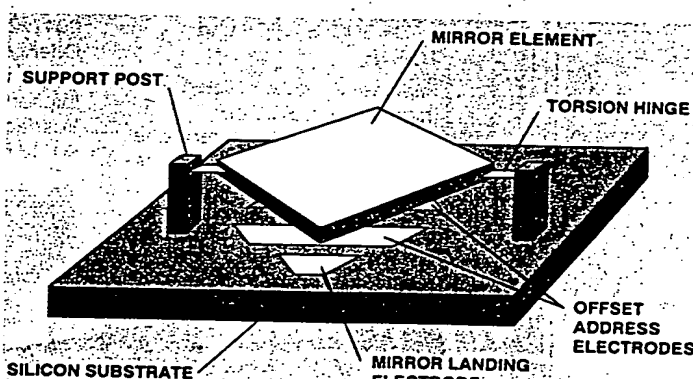
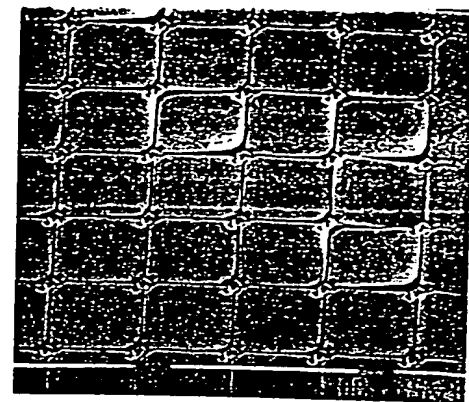


Bild 2. Jedes Spiegelement eines DMDs wird über einen Speicher elektromagnetisch ausgelenkt.

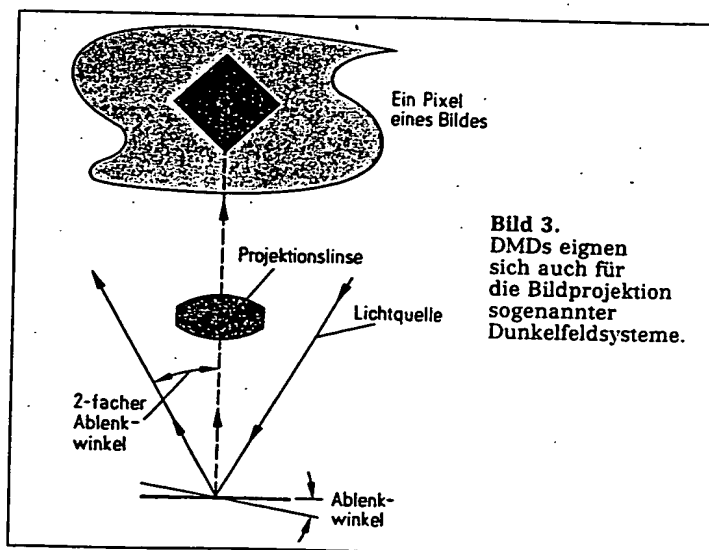


Bild 3. DMDs eignen sich auch für die Bildprojektion sogenannter Dunkelfeldsysteme.

Die Spiegelmembrane der ersten DMDs mußten mechanisch sehr robust sein, da sie als Einzelstück gefertigt und anschließend auf dem Chip installiert wurden. Hohe Spannungen waren erforderlich, um Auslenkungswinkel von wenigstens einem Grad zu erreichen. Da mit der neuen DMD-Generation sowohl die Spiegelemente als auch die flexiblen Elemente, an denen die einzelnen Spiegel aufgehängt sind, mit dem Chip im selben Produktionsprozeß hergestellt werden, können diese Elemente wesentlich dünner und somit flexibler ausfallen. Somit sind Auslenkwinkel von ± 10 Grad bezüglich der horizontalen Lage des Spiegelements möglich. Diese großen Auslenkungswinkel ermöglichen den Einsatz der DMDs auch in Bildprojektionseinrichtungen für sogenannte Dunkelfeldsysteme.

Bildprojektion in Videoqualität

Ein solches optisches System ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Der Lichtstrahl, der auf ein Spiegelement trifft und dessen Einfallswinkel kleiner als 20 Grad sein soll, wird, falls ein Spiegel nach links gekippt ist, so abgelenkt, daß der Lichtstrahl nicht in den Linsenbereich projiziert wird. Es erscheint ein schwarzer Punkt auf dem Bildschirm. Spiegelemente, die nach rechts gekippt sind, reflektieren den Lichtstrahl in die Projektionslinse, so daß ein heller Punkt abgebildet wird. Mit einer Kippgeschwindigkeit des Spiegelements von $10 \mu\text{s}$ von links nach rechts, lassen sich mit einem DMD-Chip (768×76 Pixel) Dunkelfeld-Videoprojektoren realisieren. Eine Bandbreite von 96 parallelen Eingängen ermöglicht Bildwiederholraten, die im Bereich von Videosystemen liegen. ▷

(Fortsetzung v. S. 30)

Während der Ausführung werden Daten von insgesamt 768 Bit, verbunden mit zwei horizontalen Zeilen eines Bildes, in die parallelen Eingangs-Shift-Register geladen (oben und unten im Baustein angeordnet). Sind diese Zeilen geladen, werden die zugehörigen Adressen der Spalten des Bildes in den Adreß-Decoder auf der linken Seite des Bauelements geladen. Der Status des SRAMs einer jeden individuellen Zelle bestimmt die Lage des über diesem Speicher angeordneten Spiegels.

NTSC- und PAL-Bilder per DMD projizierbar

Die Übertragung von farbigem Bildmaterial läßt sich am einfachsten mit drei DMD-Chips erreichen, jeweils einen Chip für rotes, blaues und grünes Licht. Die hohen Wiederholraten des 768 x 576-Pixel-DMDs ermöglichen es aber auch, ein Farbprojektionssystem mit nur einem DMD-Element zu realisieren. Dabei sind verschiedene Vorrichtungen für

die Farbumschaltung denkbar (z.B. pulsierendes Ein- und Abschalten der einzelnen Farbquellen oder eine per Elektromotor angetriebene Farbscheibe über einer weißen Lichtquelle).

Der in Bild 4 schematisch dargestellte Projektor basiert auf einem DMD-Chip der Größe 768 x 576 Pixel in Verbindung mit einer Xenon-Lichtquelle und einer rotierenden Farbscheibe. Ein Interface ist für die Aufbereitung der Bilddaten als NTSC- oder VGA-Bilder zuständig. Beide Bildtypen werden in der aktiven Ebene des DMD-Chips mit einer Auflösung von 640 x 480 Bildpunkten abgebildet (Bild 5).

Die Vorteile dieser Art von Bildprojektion liegen nach den Worten von Ron Slaymaker, U.S. Consumer Segment Manager Semiconductor Group bei TI, klar auf der Hand. Da ein DMD über keine Linse verfügt, kommen die einzelnen Bilddaten immer mit der gleichen Lichtstärke auf die Leinwand, was sich im Bildkontrast widerspiegelt. Bereits im ersten oder zweiten Quartal 1994 möchte TI ein DMD-IC mit der Auflösung von 2048 x 1152 Pixeln

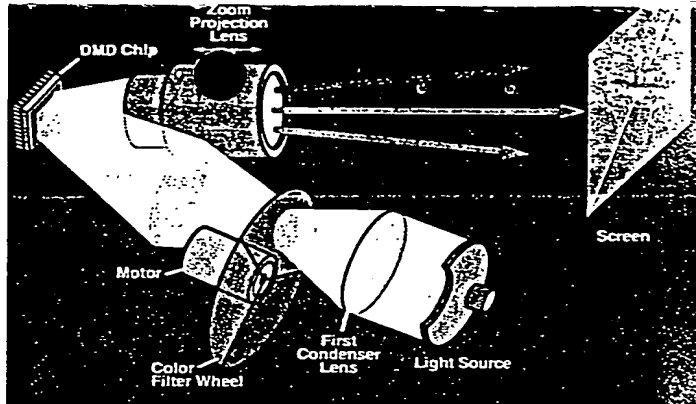


Bild 4. Farbbilder können entweder über drei einzelne DMDs (rot, grün, blau) oder über einen DMD-Chip mit entsprechender Farblichtquelle projiziert werden.



Bild 5. VGA-Bild eines DMD-Projektors.

(Bilder: TI)

(über 2,3 Millionen Spiegelemente) vorstellen. Die Projektion hochauflösender Bilder soll mit diesem Baustein demonstriert werden. Dies

wäre Slaymaker zufolge dann das erste ausschließlich digital arbeitende System zur Übertragung von Bildern in NTSC-Qualität. Mo

Für den schnell wachsenden ATM-Markt (Asynchronous Transfer Mode) hat Fujitsu vier Bausteine entwickelt. Dabei handelt es sich um ein self-routing Switch-Element (SRE), einen Network-Termination-Controller (NTC), einen Header-Address-Translation-Controller (ATC) sowie einen Adaptation-Layer-Controller (ALC). Die ICs bieten ein umfassendes Spektrum von Funktionen für die Entwicklung einer breiten Palette von ATM-Produkten, die sowohl lokale als auch Weitbereichs-Netzwerk-Applikationen abdecken. Alle vier Bausteine sind in Fujitsus Sub-Micron-CMOS-Technologie implementiert und unterstützen serielle Bit-Raten bis 155 MBit/s.

Nach Angaben des japani-

ATM-ICs von Fujitsu

schen Unternehmens sollen die neuen Produkte bis 1994 Endbenutzerkosten von 1000 Dollar pro Port möglich machen, was als Schlüsselfaktor für eine

schnelle Verbreitung von ATM gilt. Die ICs lassen sich sehr variabel einsetzen, um ATM-Applikationen von der Adapterkarte über LAN-Switches Bridges hin zu pri-



vaten Netzen abzudecken. Preislich bewegen sich die ATM-ICs zwischen 210 und 330 Mark (als Muster) bzw. 70 und 170 Mark (10 Stück).

Zu den Schlüsselbereichen, die Fujitsu mit seinen ATM-ICs im Visier hat, zählt der Vernetzungsmarkt für Workstation. In der Fähigkeit, ATM auf dem Desktop zu einem konkurrenzfähigen Preis und mit alternativen Übertragungstechniken zur Verfügung zu stellen, sieht Fujitsu nach eigenen Angaben ein entscheidendes Kriterium für das zukünftige Wachstum des gesamten ATM-Marktes.

Ein weiterer Bereich, dem sich Fujitsu widmet, ist der zukünftige Bedarf an Hochgeschwindigkeits-Bausteinen für Systeme, die mit 622 MBit/s arbeiten. ek